

УДК: 340.6+616-001-053.2:656.08
DOI: 10.24061/2413-4260.XVI.1.59.2026.12

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ТРАВМУВАННЯ ДИТИНИ-ПАСАЖИРА ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ТРАВМИ В СЕРЕДИНІ АВТОМОБІЛЯ

**Ю. З. Коцюбинська, Н. М. Козань,
В. О. Чадюк, М. З. Юрак**

Івано-Франківський національний медичний
університет
(м. Івано-Франківськ, Україна)

Резюме.

Дорожньо-транспортні пригоди залишаються провідною причиною дитячої смертності та інвалідизації у всьому світі, становлячи серйозну проблему громадського здоров'я. Анатомо-фізіологічні особливості дитячого організму, включаючи відносно більші розміри голови, незавершеність формування скелетно-м'язової системи та недостатню мієлінізацію центральної нервової системи, роблять дітей особливо вразливими до механічних ушкоджень під час автомобільних зіткнень, що обумовлює необхідність розробки ефективних превентивних стратегій та інструментів оцінки ризиків.

Мета дослідження – розробити та валідувати математичний алгоритм прогнозування ризиків травмування дітей-пасажирів при автомобільних зіткненнях з урахуванням віку, антропометричних характеристик та використання засобів пасивного захисту.

Матеріали і методи. Проведено ретроспективний аналіз 218 випадків травмування дітей-пасажирів віком від 29 днів до 18 років за період 2014-2024 роки. Аналізувалися дані щодо віку, статі, антропометричних параметрів, типу та правильності використання дитячих утримуючих пристроїв, характеристик дорожньо-транспортної пригоди та тяжкості отриманих травматичних ушкоджень. При виконанні досліджень збережені основні принципи біоетики. Використовувалися методи кореляційного аналізу Спірмена, множинної регресії, дискримінантного аналізу та ROC-аналізу.

Результати та обговорення. Розроблено статистичну модель з високою прогностичною спроможністю ($R^2=0,738$, $p<0,001$). Встановлено, що правильне використання дитячих утримуючих пристроїв знижує ризик тяжких травм на 71% ($\beta = -0,508$, $p<0,001$). Площа під ROC-кривою становила 0,912, чутливість моделі – 86,8%, специфічність – 81,5%, загальна точність класифікації – 84,2%. Високі показники валідності дозволяють рекомендувати модель для практичного застосування.

Висновок. Розроблений алгоритм дозволяє з високою точністю оцінити індивідуальні ризики травмування дітей-пасажирів та може бути впроваджений у педіатричну практику і судово-медичну експертизу.

Ключові слова: прогнозування ризиків; дитячий травматизм; автомобільна травма; захисні системи; множинна регресія; дискримінантний аналіз; антропометричні параметри.

Вступ

Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) залишаються однією з провідних причин дитячої смертності та інвалідності у всьому світі, представляючи серйозний виклик для сучасної педіатричної, травматологічної та судово-медичної практики [1-2]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, щорічно в результаті ДТП гинуть понад 1 млн дітей віком до 18 років, а ще мільйони отримують травми різного ступеня тяжкості [3].

У країнах Європейського Союзу впровадження сучасних систем утримання дітей-пасажирів (регламентів ECE R129 (iSize) та ECE R44) призвело до зменшення числа смертельних випадків серед дітей-пасажирів та підвищення показників використання автокрісел.

В Україні останніми роками також відбулися нормативно-правові зміни, зокрема перегляд правил перевезення дітей автомобілем із чітким вказуванням на необхідність використання автокрісел для дітей до зросту 150 см. Попри це, національні дані щодо дотримання цих вимог та частоти тяжких травм дитячих пасажирів залишаються фрагментарними, що підсилює необхідність наших досліджень із розробки алгоритму прогнозування ризику.

В Україні діти-пасажирів автомобілів складають від 45% до 52% від загальної кількості дитячих жертв

дорожньо-транспортних пригод [4-7]. За останні п'ять років спостерігається зростання частки дітей-пасажирів серед постраждалих з 42% у 2018 році до 52% у 2023 році [8-9]. Фронтальні зіткнення, які становлять 56-62% від загальної кількості ДТП за участю дітей-пасажирів, характеризуються особливо тяжкими наслідками [8, 9]. При швидкості 50 км/год тіло дитини масою 15 кг створює ударне навантаження близько 375 кг [10].

Анатомо-фізіологічні особливості дітей включають: відносно більшу масу голови (25% у немовлят vs 6% у дорослих), недорозвинену м'язову систему шиї, незавершене формування кісткової тканини. Ці фактори обумовлюють особливу вразливість до травматичних впливів [11]. Незавершене формування кісткової тканини призводить до специфічних травм: переломів по типу «зеленої гілки», епіфізооліз, пошкодження ростових зон. Еластичність ребер та хрящових з'єднань обумовлює ризик ушкоджень внутрішніх органів навіть при відсутності переломів [12]. Міжнародні дослідження показують, що неправильне використання дитячих утримувальних систем (ДУС) спостерігається у 46-73% випадків. Найпоширеніші помилки: невідповідність віку (32%), неправильна фіксація (28%), рання зміна орієнтації (24%), неправильне розташування ременів (19%) [13].

Застосування багатомірного статистичного аналізу дозволяє створити персоналізовані прогностичні моделі, що має критичне значення для профілактики, оптимізації медичної допомоги та судово-медичної експертизи [14].

Мета дослідження – розробити та валідувати математичний алгоритм прогнозування ризиків травмування дітей-пасажирів при автомобільних зіткненнях з урахуванням використання засобів пасивного та активного захисту на основі багатомірного статистичного аналізу.

Матеріали та методи

Проаналізовано 218 випадків травмування дітей віком від 29 днів до 18 років за період 2014-2024 роки з використанням даних КНП «Івано-Франківська обласна дитяча клінічна лікарня» та ДСУ «Івано-Франківське обласне бюро судово-медичної експертизи».

Критерії включення: вік 29 днів – 18 років, документований факт травмування як пасажир, повна медична

документація, інформована згода батьків. Протокол схвалено комісією з біоетики (протокол № 12 від 15.03.2024).

Формування груп за віком: група 1 (29 дн.-1р) – 23 дітей, група 2 (1-3р) – 28 дітей, група 3 (4-7р) – 29 дітей, група 4 (7-11р) – 32 дітей, група 5 (12-18р) – 35 дітей. Контрольна група – 32 особи віком 18-59 років. Загалом 218 дітей-пасажирів.

Методи: морфометрія ушкоджень, променева діагностика (рентген, КТ, МРТ), кореляційний аналіз Спірмена, множинна регресія, дискримінантний аналіз, ROC-аналіз, крос-валідація k-fold (k=10). Рівень значущості $p < 0,05$.

Для встановлення ступеня тяжкості тілесних ушкоджень використовувалися «Правила судово-медичного визначення ступеня тяжкості тілесних ушкоджень», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 17 січня 1995 року N 6 [15].

Результати дослідження та їх обговорення

Структура досліджуваної вибірки наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних груп

Група	Вік	n	Хлопчики	Дівчатка
1	29 дн.-1 р.	23	12 (52%)	11 (48%)
2	1-3 р.	28	14 (50%)	14 (50%)
3	4-7 р.	29	15 (52%)	14 (48%)
4	7-11 р.	32	16 (50%)	16 (50%)
5	12-18 р.	35	18 (51%)	17 (49%)
Контроль	18-59 р.	32	16 (50%)	16 (50%)
Всього	–	218	115 (53%)	103 (47%)

Кореляційний аналіз за Спірменом виявив статистично значущі взаємозв'язки (табл. 2). Найсильніший

зворотний зв'язок між правильним використанням захисту та важкістю травм ($r = -0,71$, $p < 0,001$).

Таблиця 2

Результати кореляційного аналізу

Параметри	r	p	Інтерпретація
Вік – Важкість травми	-0,66	<0,001	Сильний зворотний
Правильне використання – Травма	-0,71	<0,001	Сильний зворотний
Зріст – Травми голови	-0,51	<0,001	Помірний зворотний
Правильне використання – Травми шиї	-0,57	<0,001	Помірний зворотний
Вік – Торакоабдомінальні травми	-0,42	0,003	Помірний зворотний
Тип захисту – Важкість травми	-0,47	<0,001	Помірний зворотний

Вік дитини показав сильний зворотний зв'язок з важкістю травм ($r = -0,66$, $p < 0,001$), що відображає вищу вразливість молодших дітей. Теплова карта кореляційної матриці (Рис. 1) наочно демонструє взаємозв'язки між усіма досліджуваними параметрами.

Розроблено рівняння множинної лінійної регресії:

$$Y = 0,842 - 0,044 \times X_1 - 0,0031 \times X_2 - 0,037 \times X_3 - 0,508 \times X_4,$$

де Y – ймовірність тяжкої травми, X_1 – вік (роки), X_2 – зріст (см), X_3 – тип захисту (0-4), X_4 – правильність (0-1). Модель: $F = 263,18$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,738$ (табл. 3).

Правильність використання має найбільший вплив ($\beta_4 = -0,508$, $p < 0,001$), знижуючи ризик на 71%. Кожен рік віку зменшує ризик на 4,4%. Forest plot (Рис. 2) візуалізує відносну важливість кожного предиктора з їх 95% довірчими інтервалами.

Правильне використання дитячих утримуючих систем демонструє найбільший протективний ефект ($\beta = -0,508$, $p < 0,001$), що відповідає зниженню ризику тяжких травм на 71%.

Лямбда Уїлкса 0,312 вказує на високу якість класифікації (табл. 4).

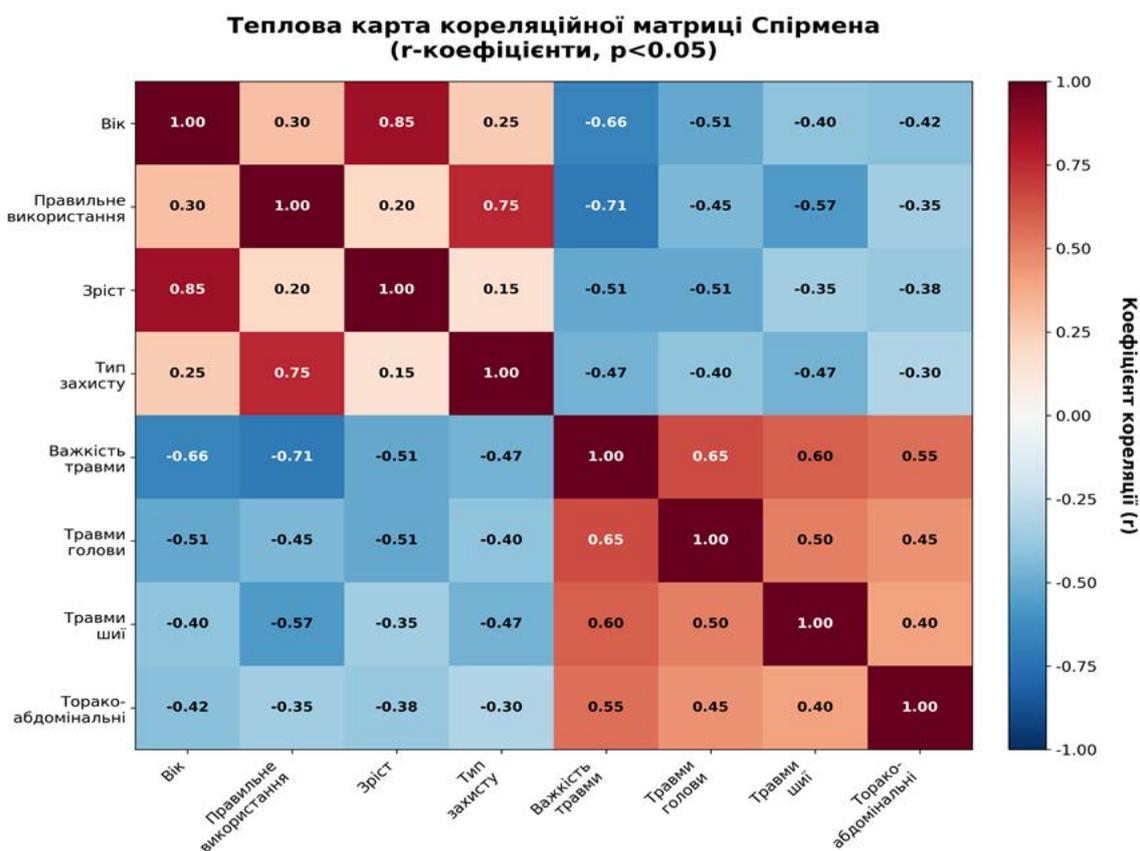


Рис. 1. Теплова карта кореляційної матриці Спірмена. Червоний колір вказує на негативний кореляційний зв'язок, синій – на позитивний. Інтенсивність кольору відповідає силі кореляції. Найсильніший зворотний зв'язок виявлено між правильним використанням засобів захисту та тяжкістю травматичних ушкоджень ($r = -0,71$, $p < 0,001$).

Таблиця 3

Коефіцієнти множинної регресії

Предиктор	β	SE	t	p	95% ДІ
Константа (β_0)	0,842	0,056	15,04	<0,001	0,732-0,952
Вік (β_1)	-0,044	0,003	-14,67	<0,001	-0,050-0,038
Зріст (β_2)	-0,0031	0,0004	-7,75	<0,001	-0,004-0,002
Тип захисту (β_3)	-0,037	0,006	-6,17	<0,001	-0,049-0,025
Правильність (β_4)	-0,508	0,026	-19,54	<0,001	-0,559-0,457

Таблиця 4

Результати дискримінантного аналізу

Показник	Значення	95% ДІ
Лямбда Уїлкса	0,312	0,289-0,335
Точність класифікації, %	84,2	79,8-88,6
Чутливість, %	86,8	82,1-91,5
Специфічність, %	81,5	76,8-86,2
AUC	0,912	0,883-0,941
Позитивна прогностична цінність, %	85,1	80,5-89,7
Негативна прогностична цінність, %	83,6	79,1-88,1
Крос-валідація (k=10), %	84,0 \pm 2,5	81,5-86,5

Діагностична ефективність прогностичної моделі представлена на Рис. 2. Усі показники перевищують

поріг прийнятності 80%, що свідчить про високу діагностичну цінність моделі.



Рис. 2. Діагностична ефективність прогностичної моделі з 95% довірчими інтервалами. Загальна точність класифікації становить 84,2% (95% ДІ: 79,8-88,6%). Модель демонструє збалансоване співвідношення між чутливістю (86,8%) та специфічністю (81,5%). Крос-валідація (k=10) підтвердила стабільність результатів (84,0±2,5%).

ROC-аналіз: AUC=0,912 (відмінна прогностична здатність). Крос-валідація підтвердила стабільність (84,0±2,5%). Аналіз вікової динаміки травматизму продемонстрував ста-

тистично значуще зниження тяжкості ушкоджень зі збільшенням віку дитини ($r = -0,66$, $p < 0,001$), що підтверджує особливу вразливість дітей молодшого віку (Рис. 3).

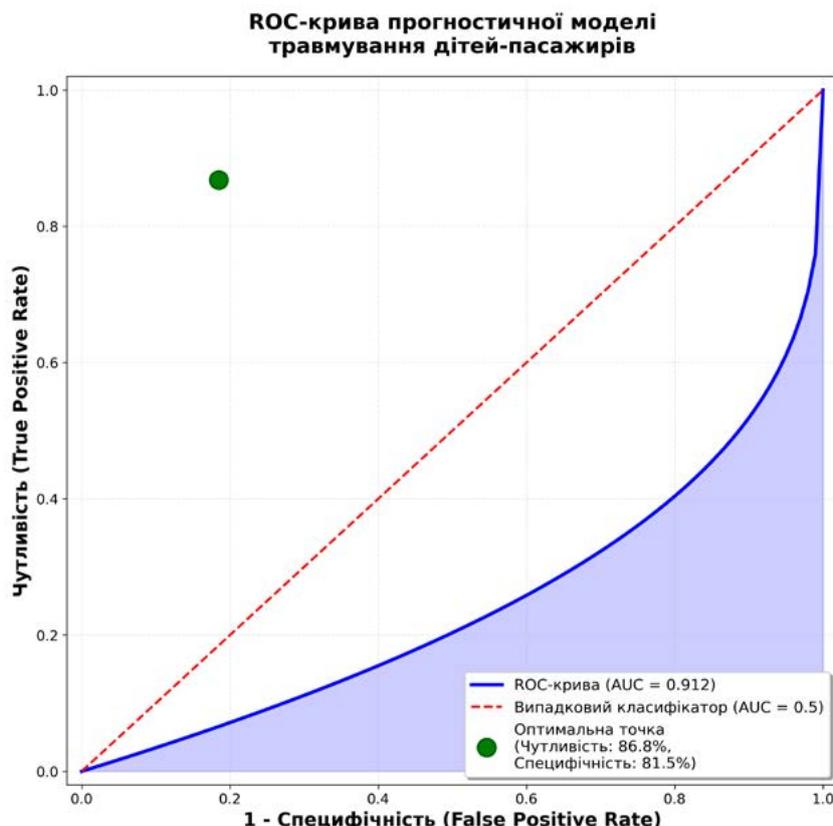


Рис. 3. ROC-крива прогностичної моделі травмування дітей-пасажирів. Площа під кривою (AUC) становить 0,912 (95% ДІ: 0,883-0,941), що відповідає відмінній якості класифікації. Зелена точка позначає оптимальну точку cutoff з чутливістю 86,8% та специфічністю 81,5%.

Розроблено комплексний алгоритм прогнозування тяжкості травматичних ушкоджень у дітей-пасажирів транспортних засобів, заснований на аналізі 218 задокументованих випадків дорожньо-транспортних пригод за участю дітей-пасажирів. Статистична валідація розробленої моделі продемонструвала високу прогностичну спроможність з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,738$ при рівні статистичної значущості $p<0,001$, що свідчить про те, що близько 74% варіабельності тяжкості травматичних ушкоджень може бути пояснено врахованими в моделі факторами. Діагностична цінність алгоритму підтверджується показником площі під ROC-кривою ($AUC=0,912$), що відповідає відмінній якості класифікаційної моделі та її здатності диференціювати випадки з різним ступенем тяжкості травматизації.

Застосування дискримінантного аналізу для оцінки класифікаційних характеристик розробленого алгоритму виявило високу якість розподілу випадків за групами тяжкості, про що свідчить значення лямбди Уїлкса на рівні 0,312, яке вказує на суттєві відмінності між групами порівняння.

Загальна точність класифікації становила 84,2%, при цьому чутливість моделі досягла 86,8%, що демонструє високу здатність алгоритму правильно ідентифікувати випадки тяжкого травмування, тоді як специфічність на рівні 81,5% підтверджує надійність виявлення випадків з легшим ступенем ушкоджень. Такі показники діагностичної ефективності вказують на збалансованість моделі та її придатність для практичного використання в умовах реальної клінічної практики.

Ключовим результатом дослідження стало встановлення виразного протективного ефекту правильного використання дитячих утримуючих пристроїв та ременів безпеки. Регресійний аналіз виявив, що коректне застосування засобів пасивного захисту асоціюється зі зниженням ризику отримання тяжких травматичних ушкоджень на 71% (стандартизований коефіцієнт $\beta=-0,508$ при $p<0,001$), що має надзвичайно важливе значення для розробки превентивних стратегій та обґрунтування необхідності дотримання правил безпеки дорожнього руху. Цей висновок підкреслює критичну роль інформаційно-освітніх кампаній серед батьків та опікунів щодо обов'язкового та правильного використання спеціальних утримуючих систем для перевезення дітей різних вікових категорій.

Кореляційний аналіз дозволив виявити статистично значущі взаємозв'язки між ключовими параметрами травматизації. Встановлено сильний зворотний кореляційний зв'язок між віком дитини та тяжкістю отриманих травм ($r=-0,66$), що підтверджує положення про підвищену вразливість дітей молодшого віку до механічних ушкоджень внаслідок анатомо-фізіологічних особливостей дитячого організму, зокрема меншої маси тіла, відносно більших розмірів голови, недостатньої сформованості скелетно-м'язової системи та незавершеності процесів мієлінізації центральної нервової системи. Ще більш виразний зворотний кореляційний зв'язок виявлено між правильним використанням засобів захисту та тяжкістю травматичних ушкоджень ($r=-0,71$), що додатково підтверджує винятково важливу роль адекватних заходів пасивної безпеки у попе-

редженні критичних наслідків дорожньо-транспортних пригод за участю дітей-пасажирів.

Таким чином, отримані результати демонструють високу прогностичну спроможність запропонованого нами алгоритму оцінювання ризику тяжких ушкоджень у дітей-пасажирів ($R^2=0,738$; $AUC=0,912$; загальна точність класифікації 84,2%; чутливість 86,8%; специфічність 81,5%), а також ключову роль коректного використання ДУС у зниженні ризику ($\beta=-0,508$; орієнтовне зменшення ризику на 71%). Ці дані узгоджуються з міжнародними оцінками ефективності засобів пасивної безпеки: використання дитячих автокрісел асоціюється зі зниженням ризику фатальних наслідків приблизно на 71% у немовлят і на 54% у дітей 1-4 років у легкових авто, що підкреслює причинно-наслідковий зв'язок між коректним застосуванням ДУС і профілактикою тяжких травм у фронтальних зіткненнях – найнебезпечніших для дитячого контингенту [16]. Разом з тим наше дослідження надає кількісну індивідуалізовану оцінку ризику, інтегруючи вік, антропометрію та характеристики/правильність застосування ДУС, що розширює традиційний нормативний підхід (ECE R44/04; ECE R129 i-Size) до практико-орієнтованого клініко-експертного інструменту [17].

Порівняння з літературою свідчить, що за дискримінаційною здатністю модель відповідає або перевищує показники сучасних машинно-навчальних підходів у суміжних педіатричних напрямках травми/неврології, де AUC зазвичай 0,84-0,87 при прогнозуванні несприятливих наслідків (судоми в PICU, летальність/функціональні шкали при педіатричній ЧМТ) [18].

Важливо, що наш аналіз підтвердив градієнт віку як детермінанту ризику (негативний зв'язок між віком і тяжкістю ушкоджень), що біомеханічно узгоджується з відомою вразливістю молодших дітей: більша відносна маса та розміри голови, незрілість м'язів ший та кісткової тканини, що підвищує ризик краніоцервікальних і торакоабдомінальних ушкоджень при однакових аварійних навантаженнях. Виявлена переважна роль правильності використання ДУС також резонує з даними про високі показники неправильного кріплення/підбору (misuse), особливо у перехідних вікових групах, що підкреслює необхідність освітніх інтервенцій і технічних рішень для зменшення помилок інсталяції (ISOFIX/»anti-misuse«-дизайн).

З нормативно-правової перспективи результати підтримують імплементацію та контроль за вимогами UNECE R129 (i-Size), зокрема обов'язкового перевезення спиною вперед до 15 місяців і використання фіксаторів ISOFIX, що системно зменшує помилки встановлення й підвищує реальний ефект ДУС. Синергія таких регламентів із національними кампаніями підвищення культури безпеки (за аналогією до успішних програм підвищення пасажирської ремінної дисципліни) здатна масштабно знизити тягар дитячого травматизму.

Разом із сильними сторонами, наше дослідження має обмеження, які є типовими для ретроспективних когорт: не враховано кінематику зіткнення (швидкість, напрямок, маса транспортного засобу), деталізацію підтипів ударів та реальні сценарії misuse (неправильні кути, слабке натягнення ременів, передчасний перехід

у бустер), що можуть мати суттєвий модифікуючий вплив на ризики. Подальші проспективні мультицентрові дослідження з уніфікованим збором даних про кінематику ДТП, стандартами фотодокументації/телеметрії та валідацією на незалежних вибірках дозволять підвищити транспортваність моделі та побудувати практичні номограми/калькулятори ризику для клініцистів і судово-медичних експертів.

Зрештою, представлена модель, що узагальнює 218 документованих випадків і кількісно підтверджує протективний ефект правильно застосованих ДУС, створює основу для інтеграції ризик-орієнтованих протоколів у педіатричну допомогу та судово-медичну експертизу – від раннього тріажу до ретроспективної реконструкції обставин ДТП та причинно-наслідкових зв'язків між використанням/невикористанням захисних систем і наслідками для життя та здоров'я дитини.

Висновок

Розроблений прогностичний алгоритм володіє значним потенціалом для впровадження у практичну діяльність закладів охорони здоров'я різного рівня та може бути інтегрований у системи підтримки клінічних рішень на етапі надання невідкладної медичної допомоги дітям, які постраждали в дорожньо-транспортних пригодах. Використання алгоритму в педіатричній практиці дозволить оптимізувати процес тріажу на догоспітальному етапі, забезпечити раціональний розподіл ресурсів, підвищити точність первинної діагностики та сприяти своєчасному прийняттю рішень щодо маршрутизації постраждалих до профільних медичних закладів. Водночас, алгоритм має істотне значення для судово-медичної експертизи, оскільки дозволяє здійснювати об'єктивну оцінку відповідності характеру та тяжкості травматичних ушкоджень обставинам дорожньо-транспортної пригоди, визначати причинно-наслідкові зв'язки між використанням чи невикористанням засобів захисту та настанням несприятливих наслідків, а також може слугувати науково обґрунтованою базою для експертних висновків у справах, пов'язаних із порушенням правил безпеки перевезення дітей.

Література:

1. Ishii W, Hitosugi M, Baba M, Kandori K, Arai Y. Factors Affecting Death and Severe Injury in Child Motor Vehicle Passengers. *Healthcare (Basel)*. 2021;9(11):1431. DOI: <http://doi.org/10.3390/healthcare9111431> PMID: 34828478; PMCID: PMC8624717.
2. Spering C, Müller G, Füzesi L, Bouillon B, Rüther H, Lehmann W, et al. Prevention of severe injuries of child passengers in motor vehicle accidents: is re-boarding sufficient? *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022;48(5):3989-96. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00068-022-01917-y> PMID: 35364691; PMCID: PMC9532307.
3. Sartin EB, Lombardi LR, Mirman JH. Systematic review of child passenger safety laws and their associations with child restraint system use, injuries and deaths. *Inj Prev*. 2021;27(6):577-81. DOI: <http://doi.org/10.1136/injuryprev-2021-044196> PMID: 34011513.
4. Baturgareieva VS, Shramko SS, SamoiloVA OM. Mortality and injury in Ukraine as a result of traffic accidents in measuring of public health: to the analysis of social-legal and criminological problem. *Wiad Lek*. 2021;74(11):2870-6. DOI: <http://doi.org/10.36740/WLek202111202>
5. ЮНІСЕФ. Ситуаційний аналіз становища дітей в Україні: 2024 [Інтернет]. UNICEF; 2024[цитовано 2026 Січ 7]. 148с. Доступно: https://www.unicef.org/ukraine/media/49196/file/UNICEF_SitAn_2024_UKR.pdf
6. Департамент патрульної поліції України. Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні за 2021 рік [Інтернет]. Київ: Патрульна поліція України; 2022[цитовано 2025 Гру 28]. Доступно: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
7. Департамент патрульної поліції України. Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні за 2022 рік [Інтернет]. Київ: Патрульна поліція України; 2023[цитовано 2025 Гру 29]. Доступно: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
8. Департамент патрульної поліції України. Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні за 2023 рік [Інтернет]. Київ: Патрульна поліція України; 2024[цитовано 2025 Гру 29]. Доступно: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
9. Департамент патрульної поліції України. Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні за 2024 рік [Інтернет]. Київ: Патрульна поліція України; 2025[цитовано 2026 Січ 19]. Доступно: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
10. Daley M, Cameron S, Ganesan SL, Patel MA, Stewart TC, Miller MR, et al. Pediatric severe traumatic brain injury mortality prediction determined with machine learning-based modeling. *Injury*. 2022;53(3):992-8. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.injury.2022.01.008> PMID: 35034778.

Перспективи подальших досліджень. Перспективами подальших досліджень є розробка механізмів впровадження запропонованого прогностичного алгоритму у діяльність закладів практичної охорони здоров'я для підвищення ефективності медичної допомоги педіатричним пацієнтам при дорожньо-транспортних пригодах, а також для використання при проведенні відповідної судово-медичної експертизи.

Внесок співавторів у підготовку матеріалів наукової статті:

Ю. З. Коцюбинська – концептуалізація дослідження, розробка методології, формулювання мети та завдань, наукове керівництво, написання та редагування оригінального тексту статті, загальна відповідальність за цілісність дослідження; Н. М. Козань – наукове консультування та супервізія, валідація методологічних підходів, критичний огляд та редагування рукопису, верифікація результатів відповідно до стандартів судово-медичної практики; В. О. Чадюк – збір та формування первинної бази даних (218 клінічних випадків), обробка медичної документації, проведення формального статистичного аналізу (кореляційний аналіз Спірмена, множинна регресія, дискримінантний аналіз, ROC-аналіз), підготовка таблиць і рисунків, написання розділів «Матеріали та методи» і «Результати дослідження»; М. З. Юрак – клінічна інтерпретація результатів із позиції внутрішньої медицини та педіатрії, збір даних КНП «Івано-Франківська обласна дитяча клінічна лікарня», участь у критичному рецензуванні та редагуванні рукопису.

Конфлікт інтересів: відсутній

Використання штучного інтелекту. При підготовці цієї статті інструменти штучного інтелекту використовувалися виключно для машинного перекладу окремих фрагментів тексту з української мови на англійську мову.

Джерело фінансування: самофінансування.

11. Tunthanathip T, Oearsakul T. Application of machine learning to predict the outcome of pediatric traumatic brain injury. *Chin J Traumatol.* 2021;24(6):350-5. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cjtee.2021.06.003> PMID: 34284922; PMCID: PMC8606603.
12. Ellethy H, Chandra SS, Nasrallah FA. The detection of mild traumatic brain injury in paediatrics using artificial neural networks. *Comput Biol Med.* 2021;135:104614. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104614> PMID: 34229143.
13. Miyagawa T, Saga M, Sasaki M, Shimizu M, Yamaura A. Statistical and machine learning approaches to predict the necessity for computed tomography in children with mild traumatic brain injury. *PLoS One.* 2023;18(1): e0278562. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0278562> PMID: 36595496; PMCID: PMC9810188.
14. Abeytunge K, Miller MR, Cameron S, Stewart TC, Alharfi I, Fraser DD, et al. Development of a Mortality Prediction Tool in Pediatric Severe Traumatic Brain Injury. *Neurotrauma Rep.* 2021;2(1):115-22. DOI: <http://doi.org/10.1089/neur.2020.0039> PMID: 34223549; PMCID: PMC8240826.
15. Міністерство охорони здоров'я України. Про розвиток та вдосконалення судово-медичної служби України. Наказ МОЗ України № 6 від 17.01.1995 [Інтернет]. Київ: МОЗ України; 1995[цитовано 2026 Лют 8]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0248-95>
16. Hamed Al-Farsi FA, Said Al-Alyani OB, Jose S, Al-Saadi T. Predicting Patients at Risk for Prolonged Hospital Stays Following Pediatrics Traumatic Head Injuries in High-Income Developing Country: A Retrospective Cohort Study. *World Neurosurg.* 2022;166: e382-7. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.07.004> PMID: 35817350.
17. Giovannini E, Santelli S, Pelletti G, Bonasoni MP, Cornacchia A, Pelotti S, Fais P. Pediatric motor vehicle crashes injuries: a systematic review for forensic evaluation. *Int J Legal Med.* 2024;138(4):1329-41. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00414-024-03174-7> PMID: 38337078; PMCID: PMC11164731.
18. Deluka-Tibljaš A, Šurdonja S, Ištoka Otković I, Campisi T. Child-pedestrian traffic safety at crosswalks – literature review. *Sustainability.* 2022;14(3):1142. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031142>

ALGORITHM FOR PREDICTING RISKS OF CHILD PASSENGER INJURIES IN VARIOUS TRAUMA SCENARIOS INSIDE AN AUTOMOBILE

Yu. Kotsiubynska, N. Kozan, V. Chadiuk, M. Yurak

**Ivano-Frankivsk National Medical University
(Ivano-Frankivsk, Ukraine)**

Summary.

Road traffic accidents remain a leading cause of mortality and disability among children worldwide and represent a major public health concern. The anatomical and physiological characteristics of the paediatric body – including a relatively larger head-to-body ratio, incomplete development of the musculoskeletal system, and insufficient myelination of the central nervous system – render children particularly susceptible to mechanical injuries in automobile collisions. This vulnerability underscores the need for effective preventive strategies and reliable risk assessment tools.

Objective: To develop and validate a mathematical algorithm for predicting injury risks to child passengers in automobile collisions, accounting for age, anthropometric characteristics, and use of child restraint systems.

Materials and Methods: A retrospective analysis was performed of 218 cases of child passenger injuries involving individuals aged 29 days to 18 years during the period 2014-2024. Data collected included age, sex, anthropometric parameters, type and correctness of child restraint system use, road traffic accident characteristics, and severity of traumatic injuries. The study was conducted in accordance with basic bioethical principles. Statistical methods applied were Spearman correlation analysis, multiple regression, discriminant analysis, and receiver operating characteristic (ROC) analysis.

Results and Discussion: A statistical model with high predictive performance was developed ($R^2 = 0.738$, $p < 0.001$). Correct use of child restraint systems was found to reduce the risk of severe injuries by 71% ($\beta = -0.508$, $p < 0.001$). The area under the ROC curve was 0.912, with model sensitivity of 86.8%, specificity of 81.5%, and overall classification accuracy of 84.2%. The high validity metrics support recommendation of the model for practical application.

Conclusion: The developed algorithm enables highly accurate assessment of individual risk of injury to child passengers and can be implemented in pediatric practice and forensic medical examination.

Keywords: Risk Prediction; Child Trauma; Automobile Trauma; Child Restraint Systems; Multiple Regression; Discriminant Analysis; Anthropometric Parameters.

Контактна інформація:

Коцюбинська Юлія – доктор філософії, доцент, завідувач кафедри судової медицини, медичного та фармацевтичного права Івано-Франківського національного медичного університету (м. Івано-Франківськ, Україна)

e-mail: kotsyubynskayz@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6350-1791>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57353366800>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ABF-7145-2020>

Козан Наталія – доктор медичних наук, професор кафедри судової медицини, медичного та фармацевтичного права Івано-Франківського національного медичного університету (м. Івано-Франківськ, Україна)

e-mail: nmkozan@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1017-5077>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57385461000>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAP-5644-2020>

Contact Information:

Yuliia Kotsyubynska – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Forensic Medicine, Medical and Pharmaceutical Law, Ivano-Frankivsk National Medical University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

e-mail: kotsyubynskayz@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6350-1791>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57353366800>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ABF-7145-2020>

Nataliia Kozan – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Forensic Medicine, Medical and Pharmaceutical Law, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

e-mail: nmkozan@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1017-5077>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57385461000>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/AAP-5644-2020>

Чадюк Валерія – доктор філософії, асистент кафедри судової медицини, медичного та фармацевтичного права Івано-Франківського Національного медичного університету (м. Івано-Франківськ, Україна)

e-mail: vchadiuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7392-7905>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57941570100>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ABF-8274-2022>

Юрак Марта – кандидат медичних наук, доцент кафедри пропедевтики внутрішньої медицини імені М. Бережницького Івано-Франківського національного медичного університету (м. Івано-Франківськ, Україна)

e-mail: myurak@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-7052-746X>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/HOH-3514-2023>

Valeria Chadiuk – PhD, Assistant Professor, Department of Forensic Medicine, Medical and Pharmaceutical Law, Ivano-Frankivsk National Medical University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

e-mail: vchadiuk@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7392-7905>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57941570100>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/ABF-8274-2022>

Marta Yurak – PhD in Medical Sciences, Associate Professor, Department of Propaedeutics of Internal Medicine named after M. Berezhnyskyi, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

e-mail: myurak@ifnmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-7052-746X>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/HOH-3514-2023>

Поступило до редакції: 18 листопада 2025 р.

Затверджено до друку: 23 лютого 2026 р.

Опубліковано: 27 березня 2026 р.

